

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 528.2: 550.831: 530.12

А.В. Овчаренко

Институт геофизики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург

**МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭФФЕКТОВ
ПО ДАННЫМ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**



Ключевые слова: ряды гравиметрического мониторинга, фильтрации, сплайны, релятивистские аномалии 2-3 мкГл.

Предложена и реализована методика выявления по экспериментальным данным слабых (до 4 мкГл) квазипериодических аномалий, обусловленных релятивистскими эффектами движения Земли.

A.V. Ovcharenko

**DETECTION TECHNIQUE OF RELATIVISTIC EFFECTS
ACCORDING TO GRAVIMETRIC MONITORING**

Keywords: *gravimetric time series, filtering, spline, relativistic anomaly 2-3 μG l.*

The identification technique on experimental data weak (to 4 mkGl) the quasiperiodic anomalies caused by relativistic effects of the movement of Earth is offered and realized.

Овчаренко Аркадий Васильевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института геофизики Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург). Тел.+79226023091; e-mail: ark-ovcharenko@yandex.ru.

Ovcharenko Arkadiy Vasilievich – PhD, senior scientific researcher at the Institute of Geophysics of the Ural branch of the RAS (Yekaterinburg). Phone: +79226023091; e-mail: ark-ovcharenko@yandex.ru.

Введение

В предыдущей работе (Овчаренко, 2016) высказана идея, что существенная часть амплитуды непривливаемых аномалий гравитационного поля Земли вызвана релятивистскими эффектами движения Земли. В настоящей работе предложена и реализована методика выявления этого эффекта в экспериментальных данных гравиметрического и GPS-мониторинга. Используются данные собственных наблюдений, гравиметрический мониторинг обсерватории Арктики и опубликованные данные ряда европейских обсерваторий.

Аппаратура и методика обработки

Использовался гравиметр CG5-Autograph (S/N:40471) фирмы Scientrex в режиме непрерывной записи с дискретностью 256 сек, с включенным фильтром сейсмических помех и выключенным фильтром лунно-солнечного прилива. В этом режиме достигается предельная для данного гравиметра точность измерений, которая ограничена разрядностью выводимого файла данных. Гравиметрический мониторинг ведется в институте геофизики УрО РАН, в удаленном корпусе с минимальной производственной деятельностью. Гравиметр установлен на бетонном полу в неотапливаемом помещении.

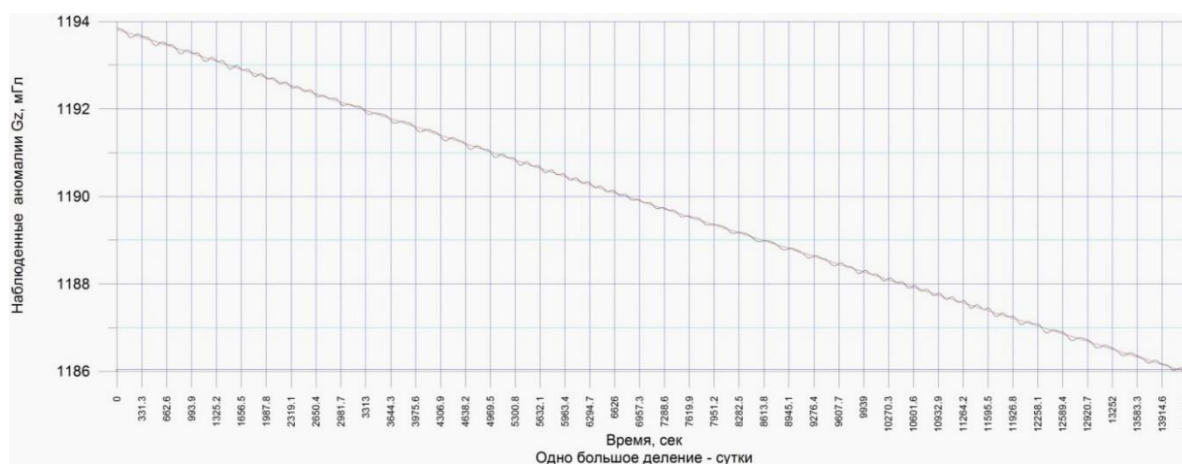
Перезапись данных ведется без выключения прибора. Коррекция уровней выполняется только в крайнем случае при достижении максимальных значений, превышающих 20 единиц. Накоплены временные ряды значений за 2014-2017 гг. В постобработке выполняется ввод поправки за лунно-солнечный прилив (Longman, 1959) и устраняется квазилинейный тренд, вызванный сползанием (дрейфом) нуля прибора.

В обсерватории Арти ведется гравиметрический мониторинг с помощью прибора Geophon с дискретностью 1 сек и 5 мин. Вводятся все стандартные поправки за лунно-солнечный прилив, давление, температуру, океанскую нагрузку (Ocean Load), дрейф нуля. Опубликованные данные европейских обсерваторий использовались в основном для анализа годовых вариаций. Для выполнения дополнительной собственной обработки выполнялась дигитализация рядов суточной и месячной дискретности.

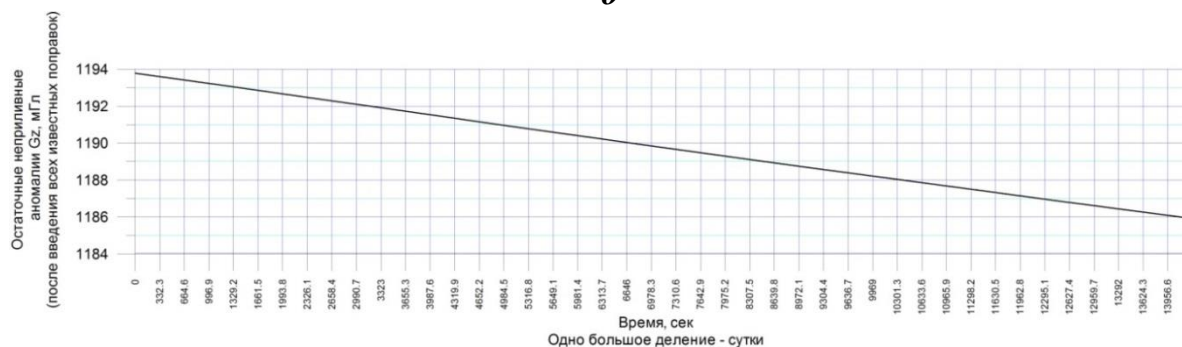
Методика целевой обработки

После устранения линейного тренда из рядов наблюдений проявляется сложный нелинейный характер остаточных аномалий (рис. 1а,б,в).

а



б



в

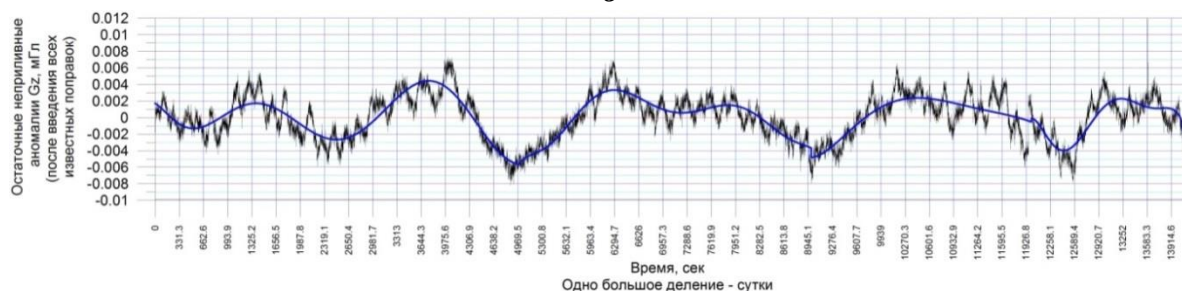


Рис. 1. Наблюденные данные за период 22.02.2017-07.04.2017 (а - с приливами; б - без приливов; в - неприливные вариации). Последовательное устранение мешающих факторов: а - наблюдаемые аномалии с лунно-солнечным приливом; б - после его устранения; в - после устранения полиномиального тренда 8 степени.

Можно путем аппроксимации остаточного ряда полиномами невысоких степеней (до 8-й) на отрезках с характерным поведением суммарной кривой разделить ряд на две компоненты - гладкую и высокочастотную (рис. 1в). Гладкая часть с характерным периодом в несколько суток обусловлена, вероятнее всего, процессами, происходящими в атмосфере и околоземном пространстве (Антонов, 2016, 2017). Упрощенный расчет прямой гравиметрической задачи от атмосферного фронта повышенной влажности с избыточной плотностью $4,2 \cdot 10^{-5} \text{ т/м}^3$ показывает возможность возникновения гравиметрических аномалий амплитудой в первые микрогаллы. Скорость изменения такой аномалии зависит от скорости прохождения фронта (обычно 30-40 км/час). После устранения таких плавных аномалий получаем типичную картину, представленную на рис. 2. Сравнение этих остаточных аномалий с расчетным релятивистским эффектом показано на рис. 3.

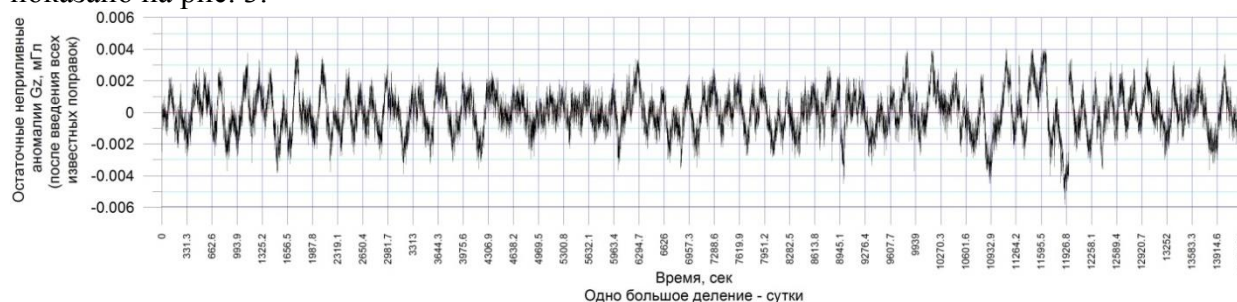


Рис. 2. Остаточные гравиметрические аномалии с характерным периодом 12 часов.



Рис. 3. Сравнение остаточных гравиметрических аномалий с расчетными релятивистскими аномалиями (красная кривая).

На рис. 4 показан укрупненный фрагмент сравнения релятивистских и остаточных аномалий. Как видим, совпадение, хотя в отдельных частях идеальное, но в целом неполное. Неучтенными помехами могут быть эффекты коронарных солнечных выбросов, быстрые явления в атмосфере с выпадом осадков, техногенные явления, а главное - несимметричные релятивистские вариации плотности полушарий Земли, которые возникают при ее вращении и которые пока не учитывались. Не учтены и релятивистские вариации массы Земли и Луны, которые влияют на лунно-солнечный прилив.



Рис. 4. Укрупненный фрагмент сравнения остаточных гравиметрических аномалий с расчетными релятивистскими аномалиями (красная кривая).

Обсуждение результатов

Выявление в гравиметрических рядах мониторинга аномалий, совпадающих по амплитуде и периоду с аномалиями релятивистского эффекта движения Земли, является важным научным фактом. Уже было получено достаточно экспериментальных доказательств верности СТО на атомных физических объектах, но новые доказательства, полученные на реальных макрофизических объектах, показывают, что многие положения разведочной гравиметрии устарели и нуждаются в пересмотре. В частности, необходим пересмотр алгоритмов и программ расчета лунно-солнечного прилива, который не учитывает релятивистские вариации масс Земли, Луны и Солнца. Не учитываются релятивистские эффекты вариаций размеров Земли, которые обнаруживаются с помощью спутниковых наблюдений. На рис. 5 приведен пример таких периодических вариаций высоты станции NOVM. Такие вариации не являются частным примером. Они обнаруживаются буквально на всех станциях GPS (<https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>- GPS Time Series, JPS NASA).

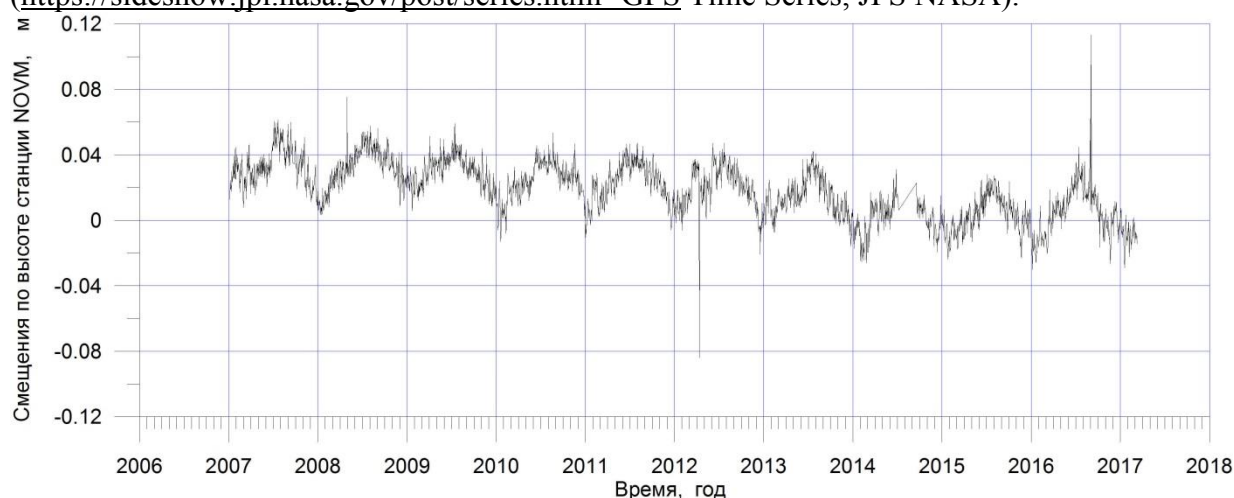


Рис. 5. Станция NOVM. Годовые вариации высоты станции по данным GPS-мониторинга. Отчетливо проявлена годовая периодичность с амплитудой 4 см и слабый линейный тренд уменьшения высоты станции на 3 см. Линейный тренд имеет, вероятно, тектоническую причину, а периодические вариации релятивистскую. Вариации высоты порядка 4 см неизбежно вызывают вариации гравиметрического поля 12 мкГал.

Объем данной работы не позволяет подробно рассмотреть годовые вариации гравитационного поля, которые уже более 30 лет регистрируются абсолютными гравиметрами (Garcia-Moroto, 2015), а последнее время спутниками GRACE.

Выводы

Обнаруженный теоретически и экспериментально подтвержденный эффект заставляет пересмотреть многие алгоритмы. Наиболее существенно он затрагивает метод расчета лунно-солнечного прилива. Нуждаются в пересмотре алгоритмы и методы расчета траекторий движений спутников и космических аппаратов, которые должны учитывать, хотя и слабые, но значимые вариации масс тяготеющих объектов.

Список использованной литературы

Антонов Ю.В. Методика выделения неприливных вариаций силы тяжести // Вестник ВГУ: Серия геофизика. 2016. № 4. С. 68-72.

Антонов Ю.В. Всплески неприливных вариаций силы тяжести // Геофизика. 2017. № 1. С. 28-34.

Овчаренко А.В. Необходимость учета релятивистских эффектов в прикладной разведочной гравиметрии // Эко-потенциал. 2016. № 4 (16). С. 65-72.

Garcia-Moroto M.C. Analysis of long-term gravity in Europe. Consequences for the retrieval of small and low frequency signals including the Earth's core resonance effects / Tesis of the PhD, IPGS, Madrid, 2015.

Longman I.M. Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun // Journal of Geophysical Research. 1959. Vol. 64. No.12. P. 2351–2355.

Рецензенты статьи: доктор геолого-минералогических наук, профессор В.А. Щапов, доктор технических наук, профессор Ю.В. Антонов.